

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-030367

(43)Date of publication of application : 31.01.1995

(51)Int.Cl.

H03H 9/64
H03H 9/25

(21)Application number : 05-169002

(71)Applicant : MURATA MFG CO LTD

(22)Date of filing : 08.07.1993

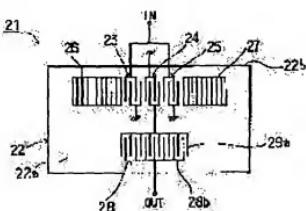
(72)Inventor : ATOMIYA TADAMASA
IEGI EIJI

(54) SURFACE ACOUSTIC WAVE FILTER

(57)Abstract

PURPOSE: To obtain the SAW filter having structure which increases an attenuation quantity nearly a passing band, specially, on a high frequency side more than in the passing band without deteriorating characteristics in the passing band.

CONSTITUTION: The SAW filter is constituted by arranging plural IDTs 23-25 on a piezoelectric substrate 21 in the propagation direction of a surface wave. On the output side of the SAW filter, at least one one-port type SAW resonator 28 is connected in series and the antiresonance frequency f_a of the above SAW resonator is set higher than the passing band of the SAW filter.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 01.04.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3139225

[Date of registration] 15.12.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-30367

(43) 公開日 平成7年(1995)1月31日

(51) Int. C1.⁶H 03 H
9/64
9/25

識別記号 庁内整理番号

Z 7259-5 J
Z 7259-5 J

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数3

O L

(全8頁)

(21) 出願番号 特願平5-169002

(22) 出願日 平成5年(1993)7月8日

(71) 出願人 000006231

株式会社村田製作所

京都府長岡京市天神二丁目26番10号

(72) 発明者 後宮 忠正

京都府長岡京市天神二丁目26番10号 株式

会社村田製作所内

(72) 発明者 家木 英治

京都府長岡京市天神二丁目26番10号 株式

会社村田製作所内

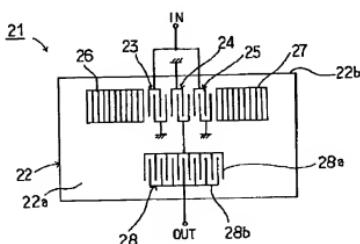
(74) 代理人 弁理士 宮崎▲主税 (外1名)

(54) 【発明の名称】弾性表面波フィルタ

(57) 【要約】

【目的】 通過帯域内における特性を劣化させることなく、通過帯域近傍の減衰量、特に通過帯域よりも高周波数側における減衰量を高め得る構造を備えた SAW フィルタを提供する。

【構成】 压電基板 21 上に表面波伝搬方向に沿って複数の IDT 23 ~ 25 を配置してなる SAW フィルタにおいて、SAW フィルタの出力側に、少なくとも 1 個の 1 ポート型 SAW 共振子 28 を直列に接続してなり、かつ上記 SAW 共振子 28 の共振周波数 f_r を SAW フィルタの通過帯域よりも高周波数側に位置するようにした、SAW フィルタ 21。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 圧電基板上に表面波伝搬方向に沿って複数のインターデジタルトランジスタを配置してなる弾性表面波フィルタにおいて、前記弾性表面波フィルタの入出力側の少なくとも一方側に、少なくとも1個のインターデジタルトランジスターを有する少なくとも1個の1ポート型表面波共振子が直列に接続されており、かつ前記1ポート型表面波共振子の反共振周波数が弾性表面波フィルタの通過帯域よりも高周波数側に設定されていることを特徴とする、弾性表面波フィルタ。

【請求項2】 前記圧電基板が3°Yカット-LiT

aO₃基板からなり、

前記1ポート型弾性表面波共振子の共振周波数をf_o。(MHz)、電極指の対数をN、交差幅をA(μm)

としたときに、

1ポート型表面波共振子が1個の場合には、

【数1】

$$\frac{f_o}{N \times A} \leq 0.6 \quad \dots \dots \dots (1)$$

を満たし、

前記1ポート型表面波共振子が複数個直列に接続された場合には、個々の共振子のf_o/(N×A)の合計が0.6以下となるように、前記1ポート型表面波共振子のインターデジタルトランジスタを構成している、請求項1に記載の弾性表面波フィルタ。

【請求項3】 前記圧電基板が6°Yカット-LiTbO₃からなり、

前記1ポート型表面波共振子の共振周波数をf_o。(MHz)、インターデジタルトランジスタの電極指の対数をN、交差幅をA(μm)としたときに、1ポート型表面波共振子が1個の場合には、

【数2】

$$\frac{f_o}{N \times A} \leq 1.1 \quad \dots \dots \dots (2)$$

を満たし、

前記1ポート型表面波共振子が複数個直列に接続された場合には、個々の表面波共振子のf_o/(N×A)の合計が1.1以下となるように、前記1ポート型表面波共振子のインターデジタルトランジスタを構成している、請求項1に記載の弾性表面波フィルタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、圧電基板上に表面波伝搬方向に沿って複数のインターデジタルトランジスタ(以下、IDT)を配置してなる弾性表面波フィルタ(以下、SAWフィルタ)に関する、特に、通過帯域近傍における減衰量を高め得る構造を備えたSAWフィルタ

に関する。

【0002】

【従来の技術】SAWフィルタは、小型であり、かつ急峻なフィルタ特性を有することを特徴としている。従つて、従来より種々の構造のSAWフィルタが提案され、使用されている。

【0003】図1は、従来の弾性表面波フィルタの一例として、3電極型SAWフィルタを示す略図的平面図である。SAWフィルタ1は、矩形の圧電基板2上に3個のIDT3～5を配置した構造を有する。なお、6、7は反射器を示す。SAWフィルタ1では、IDT3、5の一方の歛音電極が共通接続されて入力端とされており、IDT4の一方の歛音電極が出力端とされている。IDT3～5の他方の歛音電極は、アース電位に接続されている。

【0004】図2は、従来のSAWフィルタの他の例を示す略図的平面図である。SAWフィルタ8は、圧電基板2の上面に2個のIDT9、10を表面波伝搬方向に沿って配置した構造を有する。IDT9、10の両側には反射器6、7が配置されている。この2電極型SAWフィルタ8では、IDT9の一方の歛音電極が入力端として、IDT10の一方の歛音電極が出力端として用いられる。IDT9、10の他方の歛音電極はアース電位に接続されている。

【0005】図3は、従来のSAWフィルタのさらに他の例を示す略図的平面図である。SAWフィルタ11は矩形の圧電基板2の上面に表面波伝搬方向に沿って7個のIDT12～18を配置した構造を有し、多電極型SAWフィルタと称されているものである。IDT12、14、16、18の一方の歛音電極が共通接続されて入力端として用いられ、IDT13、15、17の一方の歛音電極が共通接続されて出力端として用いられている。また、IDT12～18の他方の歛音電極は、それぞれ、アース電位に接続される。

【0006】このような多電極型SAWフィルタ11では、多数のIDT12～18を配置してなるものであるため、挿入損失を低減することができる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記のように、SAWフィルタとして、挿入損失を低減するために種々の構造のものが提案されている。しかしながら、挿入損失の低減を図った場合、SAWフィルタの通過帯域近傍における減衰量があまり大きくならず、特に上記のような表面波共振子を用いたSAWフィルタにおいては、通過帯域近傍の減衰量が小さいという問題があった。

【0008】通過帯域近傍における減衰量を高めるには、SAWフィルタの段数を増大し、多段接続すればよいと考えられる。しかしながら、SAWフィルタの段数を増大させた場合には、段数に比例して挿入損失が増加することになる。

【0009】従って、挿入損失を増大させることなく、通過帯域近傍における減衰量を大きくし得るSAWフィルタの登場が望まれている。特に、携帯電話などの移動体通信においては、送信側及び受信側の周波数間隔が狭く、通過帯域近傍の減衰量を十分に確保する必要がある。しかしながら、従来のSAWフィルタでは、このような要求を満たすことが困難であった。

【0010】本発明の目的は、通過帯域のフィルタ特性を損なうことなく、通過帯域近傍における減衰量、特に通過帯域の高周波数側における減衰量を高め得る構造を備えたSAWフィルタを提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明は、圧電基板上に表面波伝搬方向に沿って複数のIDTを配置してなるSAWフィルタにおいて、前記SAWフィルタの出入力側の少なくとも一方側に、少なくとも1個のIDTを有する少なくとも1個の1ポート型表面波共振子（以下、SAW共振子）が直列に接続されており、かつ前記1ポート型SAW共振子の反共振周波数がSAWフィルタの通過帯域よりも高周波数側に設定されていることを特徴とする。SAWフィルタである。

【0012】上記圧電基板上に表面波伝搬方向に沿って複数のIDTを配置してなるSAWフィルタとしては、前述したような2電極型もしくは3電極型のSAW共振子フィルタの他、多電極型SAWフィルタも含まれる。本発明では、上記のような各種SAWフィルタにおいて、上記少なくとも1個の1ポート型SAW共振子が直列に接続されていることを特徴とする。

【0013】請求項2に記載の発明では、前記圧電基板が36°Yカット-LiTao基板からなり、前記1ポート型SAW共振子の共振周波数をf₀ (MHz)、電極指の対数をN、交差幅をA (μm)としたときに、1ポート型SAW共振子が1個の場合には、下記の式(1)

【0014】

【数3】

$$\frac{f_0}{N \times A} \leq 0.6 \quad \dots \dots \dots (1)$$

【0015】を満たし、前記1ポート型SAW共振子が複数個の場合には、個々の共振子のf₀ / (N × A) の合計が0.6以下となるように、前記1ポート型SAW共振子のIDTが構成されている。

【0016】また、請求項3の記載の発明では、前記圧電基板が64°Yカット-LiNbO₃からなり、前記1ポート型SAW共振子の共振周波数をf₀ (MHz)、インターデジタルトランジスタの電極指の対数をN、交差幅をA (μm)としたときに、1ポート型SAW共振子が1個の場合には、下記の式(2)

【0017】

【数4】

$$\frac{f_0}{N \times A} \leq 1.1 \quad \dots \dots \dots (2)$$

【0018】を満たし、前記1ポート型SAW共振子が複数個の場合には、個々のSAW共振子のf₀ / (N × A) の合計が1.1以下となるように、前記1ポート型SAW共振子のIDTが構成されている。

【0019】

【作用】請求項1に記載の発明では、SAWフィルタの入出力側の少なくとも一方に、少なくとも1個の上記1ポート型SAW共振子が直列に接続されている。この1ポート型SAW共振子は、その反共振周波数がf₀がSAWフィルタの通過帯域よりも高周波数側に位置するよう構成されている。従ってSAWフィルタ全体の通過帯域特性において、通過帯域の高周波数側において上記1ポート型SAW共振子の反共振点が位置するため、通過帯域の高域側における減衰量が高められる。

【0020】請求項2に記載の発明では、後述の実施例から明らかなように、36°Yカット-LiTao基板からなる圧電基板を用いたSAWフィルタにおいて、上述した式(1)を満たすように1ポート型SAW共振子が構成されているので、挿入損失をあまり増大させることなく、通過帯域の高域側における減衰量を効果的に改善することができる。

【0021】同様に、請求項3に記載の発明では、64°Yカット-LiNbO₃基板を用いたSAWフィルタにおいて、上述した式(2)を満たすように上記1ポート型SAW共振子が構成されているため、請求項2に記載の発明の場合と同様に、挿入損失をあまり増大させることなく、通過帯域の高域側における減衰量を効果的に改善することができる。

【0022】なお、上記請求項2、3に記載の発明における式(1)及び(2)は、後述の実施例から明らかのように、本願発明者により理論的に確かめられたものである。

【0023】

【実施例の説明】以下、図面を参照しつつ実施例を説明することにより、本発明を明らかにする。

【0024】図4は、本発明の第1の実施例に係るSAWフィルタを示す略図的平面図である。SAWフィルタ21は、矩形の圧電基板22を用いて構成されている。圧電基板22の上面22a上には、端縁22b側において、複数のIDT23～25が表面波伝搬方向に沿って配置されている。

【0025】IDT23～25は、3電極型SAWフィルタを構成するために設けられている。なお、IDT23～25の一方には、反射器26、27が配置されている。IDT23、25の一方の端縁22b側には、図示のよう

50 に共通接続されて入力端として用いられる。IDT2

3, 25の他方の歯齒電極は、アース電位に接続されている。

【0026】また、IDT24の一方の歯齒電極はアース電位に接続されており、他方の歯齒電極が出力端OUTに後述の1ポート型表面波共振子28を介して接続されている。

【0027】本実施例の特徴は、1ポート型SAW共振子28が、IDT24の他方の歯齒電極と、出力端との間に、すなわち3電極型SAWフィルタの出力側に直列に接続されていることにある。

【0028】SAW共振子28は、互いに間隔を有する複数本の電極指を有する一对の歯齒電極28a, 28bを有する。一方の歯齒電極28aが、上記IDT24の歯齒電極に接続されており、他方の歯齒電極28bが出力端OUTに接続される。

【0029】上記SAW共振子28の反共振周波数f₀は、IDT23～25で構成される3電極型SAWフィルタの通過帯域よりも高周波数側に位置するよう構成されている。従って、後述の動作原理の説明から明らかなように、SAWフィルタ21のフィルタ特性において、通過帯域の高周波数側における減衰量を高めることが可能とされている。

【0030】図5は、本発明の第2の実施例に係るSAWフィルタ31を示す略図的平面図である。矩形の圧電基板32の上面32a上に2個のIDT33, 34が配置されている。IDT33の一方の歯齒電極が入力端に、他方の歯齒電極がアース電位に接続されている。IDT34の一方の歯齒電極はアース電位に、他方の歯齒電極は、後述のSAW共振子37, 38を介して出力端OUTに接続されている。

【0031】なお、35, 36は反射器を示す。すなわち、IDT33, 34及び反射器35, 36により、図2に示した2電極型SAWフィルタと同一の構造が構成されている。

【0032】本実施例では、上記2電極型SAWフィルタの出力側において、該SAWフィルタと直列に、2個の1ポート型SAW共振子37, 38が接続されている。SAW共振子37, 38は、第1の実施例のSAW共振子28と同様に、それぞれ、一对の歯齒電極37a, 37b, 38a, 38bを有する。とともに、歯齒電極37bと歯齒電極38aとはバスバーが共通とされている。そして、図示のように歯齒電極37aがIDT34に接続されており、歯齒電極38bが出力端OUTに接続されている。

【0033】第2の実施例においても、1ポート型SAW共振子37, 38は、それぞれ、その反共振周波数が上記2電極型SAWフィルタの通過帯域よりも高周波数側に位置するよう設計されている。従って、第1の実施例の場合と同様に、通過帯域よりも高周波数側における減衰量を増大させることができるとされている。

【0034】図6は、本発明の第3の実施例に係るSAWフィルタを示す略図的平面図である。SAWフィルタ41は、矩形の圧電基板42を用いて構成されている。圧電基板42の上面42a上には、中央において、複数のIDT43～49が表面波伝搬方向に沿って配設されている。

【0035】IDT43～49は、多電極型SAWフィルタを構成するために設けられている。IDT43, 45, 47, 49の一方の歯齒電極は、図示のように共通接続され、後述の1ポート型SAW共振子50を介して入力端INに接続されている。IDT43, 45, 47, 49の他方の歯齒電極はアース電位に接続されている。

【0036】また、IDT44, 46, 48の一方の歯齒電極はアース電位に接続されており、他方の歯齒電極は共通接続され、後述の1ポート型SAW共振子51を介して出力端OUTに接続されている。

【0037】すなわち、本実施例のSAWフィルタ41は、多電極型SAWフィルタの入力側及び出力側の双方において、直列に各1個のSAW共振子50, 51を接続したことに特徴を有する。

【0038】1ポート型SAW共振子50, 51は、それぞれ、その反共振周波数f₀が中央に構成されている多電極型SAWフィルタの通過帯域よりも高周波数側に位置するよう設計されている。よって、第1, 第2の実施例の場合と同様に、SAWフィルタ41では通過帯域の高周波数側における減衰量を増大させることができるとされている。

【0039】なお、第2, 第3の実施例のように、複数の1ポート型SAW共振子を接続する場合には、共振周波数やインピーダンスの異なるSAW共振子を用いることにより、SAWフィルタ全体の特性を所望の特性により一層近づけることができる。

【0040】なお、上述した第1～第3の実施例において圧電基板22, 32, 42としては、従来より公知の圧電セラミックスからなるもの、あるいは絶縁性基板上に圧電薄膜を形成したもの等を用いることができ、絶縁性基板上に圧電性薄膜を形成した構造にあっては、各IDT及び反射器は圧電薄膜の上面及び下面のいずれに形成されていてもよい。

【0041】次に、本発明の動作原理を、具体的な実験結果に基づき説明する。1ポート型SAW共振子は、一般に、図7に示す等価回路で表される。図7を参照して、1ポート型SAW共振子61は、互いに直列に接続されたインダクタンスL₁、容量C₁及び抵抗R₁と、該インダクタンスL₁、容量C₁及び抵抗R₁に並列に接続された容量C₂とを有する。このSAW共振子61のインピーダンス～周波数特性は図8に示す通りであり、共振周波数f₀付近でインピーダンスが最小となり、反共振周波数f₁付近でインピーダンスが最大値

となる。

【0042】従って、前述した2電極型もしくは3電極型SAWフィルタや多電極型SAWフィルタにおいて、上記1ポート型SAW共振子を入出力側の少なくとも一方において直列に接続した場合、上記SAW共振子の反共振周波数 f_r を減衰極とするトラップを構成することができる。よって、前述した2電極型もしくは3電極型のSAW共振子フィルタや多電極型SAWフィルタのような低損失フィルタと組み合わせることにより、上記SAW共振子の反共振周波数 f_r 付近の減衰量を増大させることができる。

【0043】この場合、SAW共振子の反共振周波数 f_r をSAWフィルタの通過帯域よりも高周波数側に設定し、かつ共振周波数 f_r をSAWフィルタの通過帯域内に位置させれば、通過帯域における挿入損失をあまり悪化させることなく、通過帯域より高周波数側における減衰量を増大させることができる。

【0044】もともと、1ポート型SAW共振子の共振周波数におけるインピーダンス値が高い場合には、インピーダンス整合範囲が狭くなり、SAWフィルタの挿入損失が増大する。従って、以下の実験例で示されるように、SAWフィルタの構成に応じて付加すべき1ポート型SAW共振子のIDTを設計することが望ましい。

【0045】いま、1ポート型SAW共振子の共振周波数を f_r (MHz)、電極指の対数をN(対)、交差幅をA (μm) とすると、 $M = f_r / (N \times A)$ は、SAW共振子の電極間容量の逆数に比例した値となり、比例定数は基板材料により決定される。

【0046】なお、1ポート型SAW共振子を複数個接続した場合には、個々の1ポートSAW共振子について $f_r / (N \times A)$ を求め、その合計が上記Mの値となる。上記Mの値が大きくなるとインピーダンス整合範囲が狭くなり、挿入損失が増加する。インピーダンス不整合による挿入損失の増大分は、実用的には0.5 dBが限度であり、挿入損失増大量はこれ以下に抑えることが必要である。また、圧電基板の温度特性を考慮すると、比帶域は1%以上必要である。

【0047】図9は、圧電基板として3.6°Yカット-LiTaO₃基板を用いた場合に、上記Mの値を変動させたときに挿入損失の悪化が0.5 dB以内に収まる比帶域を計算した結果を示す図である。図9から明らかのように、比帶域を1%以上確保するには、Mの値を0.6以下とする必要がある。

【0048】図10は、6.4°Yカット-LiNbO₃基板を用い、上記Mの値を変動させた場合の挿入損失の変化を示す図である。図10から明らかのように、比帶域を1%以上確保するには、Mの値を1.1以下とする必要があることがわかる。

【0049】上記のように、挿入損失の増大を避けるには、上記M値を圧電基板材料に応じてある値以下とする

ように1ポート型SAW共振子の電極構造を設計するところが望ましい。

【0050】次に、図6に示した第3の実施例のSAWフィルタの変形例について具体的に挿入損失一周波数特性を測定した実験例について説明する。図6に示した第3の実施例のSAWフィルタ21では、入出力側に各1個のSAW共振子50、51が接続されていたが、このSAW共振子50、51を接続しない場合の挿入損失一周波数特性を図11に示す。なお、圧電基板としては、6.4°Yカット-LiNbO₃圧電基板を用いた。

【0051】また、上記図11の特性を測定したSAWフィルタの出力側に、図6に示したSAW共振子50を4個直列に接続したSAWフィルタを作製し、同様に挿入損失一周波数特性を測定した。結果を図12に示す。

【0052】なお、図11及び図12において、実線Aは、それぞれ、通過帯域の要部を拡大して示す特性曲線であり挿入損失の大きさは図11及び図12の右側に示されているスケールにより表されている。

【0053】図11及び図12の比較から明らかなように、4個の1ポート型SAW共振子を接続した実施例の構造では、通過帯域の高域側における減衰量が約1.0~2.0 dB改善され、他方、通過帯域内の挿入損失は0.3 dBの増加にとどまっていることがわかる。

【0054】

【発明の効果】請求項1に記載の発明では、SAWフィルタの入出力側の少なくとも一方、少なくとも1個の1ポート型SAW共振子が直列に接続されており、かつ該1ポート型SAW共振子の反共振周波数がSAWフィルタの通過帯域よりも高周波数側に位置するように1ポート型SAW共振子が設計されているため、通過帯域よりも高周波数側における減衰量を約1.0~2.0 dB改善することができる。

【0055】従って、通過帯域に比べて減衰域における減衰量が増大されるため、フィルタ特性の急峻性が高められる。よって、携帯電話機における送受信側の周波数のように、周波数間隔の狭い用途に用いるのに適したSAWフィルタを提供することが可能となる。

【0056】また、請求項2に記載の発明では、3.6°Yカット-LiTaO₃を圧電基板材料として用いた場合、上述した式(1)を満たすように1ポート型SAW共振子を設計することにより、あるいは請求項3に記載のように6.4°Yカット-LiNbO₃を圧電基板材料として用いた場合には上述した式(2)を満たすように1ポート型SAW共振子を設計することにより、挿入損失を増大させることなく請求項1に記載の発明のように通過帯域外における減衰量、特に通過帯域よりも高周波数域における減衰量を効果的に高めることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の3電極型SAWフィルタを示す略図的平

面図。

【図2】従来の2電極型SAWフィルタを示す略図の平面図。

【図3】従来の多電極型SAWフィルタを示す略図の平面図。

【図4】第1の実施例に係るSAWフィルタを説明するための略図的平面図。

【図5】第2の実施例に係るSAWフィルタを示す略図的平面図。

【図6】第3の実施例に係るSAWフィルタを示す略図的平面図。

【図7】1ポート型SAW共振子の等価回路を示す図。

【図8】1ポート型SAW共振子のインピーダンス一周波数特性を示す図。

【図9】 3.6° Yカット-LiTaO₃基板を用い、Mの値を変動させた場合の挿入損失の変化を示す図。

【図10】 6.4° Yカット-LiNbO₃基板を用い、Mの値を変動させた場合の挿入損失を変化を示す図。

【図11】比較のために用いた従来のSAWフィルタの挿入損失一周波数特性を示す図。

【図12】4個の1ポート型SAW共振子を接続した実施例のSAWフィルタの挿入損失一周波数特性を示す図。

【符号の説明】

2 1…SAWフィルタ

2 2…圧電基板

2 3～2 5…IDT

2 6, 2 7…反射器

2 8…1ポート型SAW共振子

3 1…SAWフィルタ

3 2…圧電基板

3 3, 3 4…IDT

3 5, 3 6…反射器

3 7, 3 8…1ポート型SAW共振子

4 1…SAWフィルタ

4 2…圧電基板

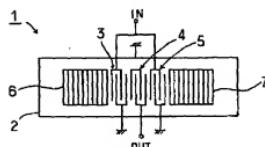
4 3～4 9…IDT

5 0, 5 1…1ポート型SAW共振子

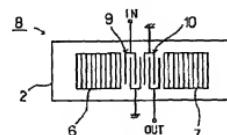
6 1…1ポート型SAW共振子

20

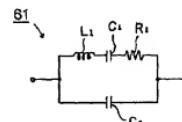
【図1】



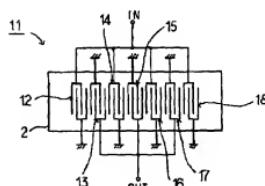
【図2】



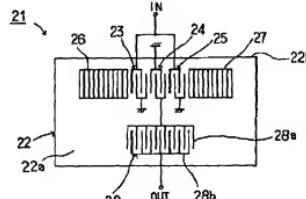
【図7】



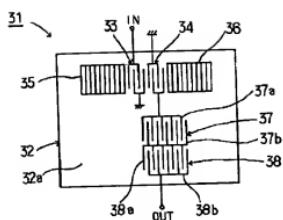
【図3】



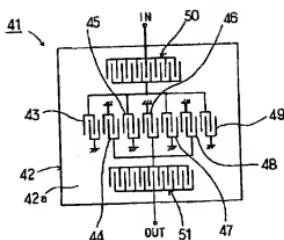
【図4】



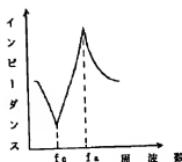
【図5】



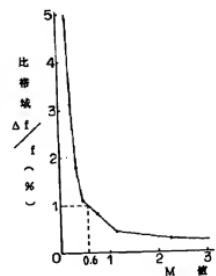
【図6】



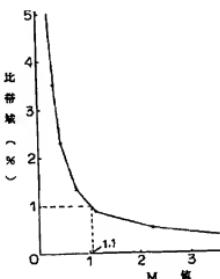
【図8】



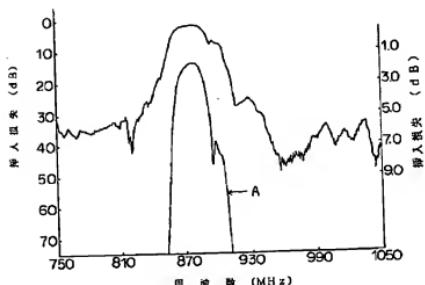
【図9】



【図10】



【図11】



【図12】

